

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-277849

(43) Date of publication of application : 06.10.2000

(51)Int.Cl.

**H01S 5/0687**

H04J 14/00

H04J 14/02

H04B 10/02

(21)Application number : 11-082036

(71)Applicant : FUJITSU LTD  
UNIV NAGOYA

(22)Date of filing : 25.03.1999

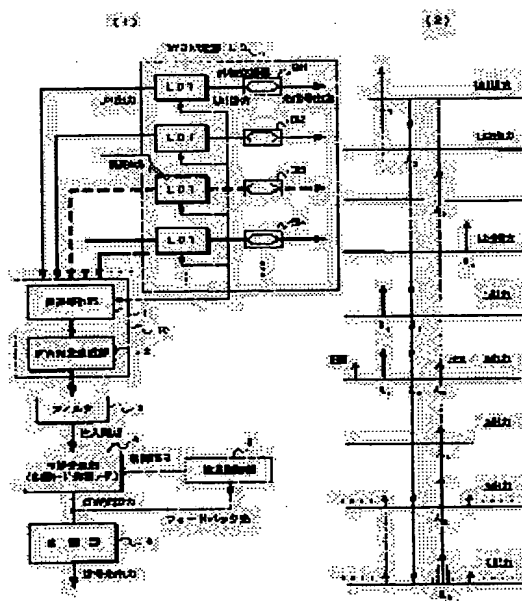
(72)Inventor : GOTO RYOSUKE  
YAMANE KAZUO  
GOTO TOSHIO  
MORI MASAKAZU

## (54) AUXILIARY LIGHT SOURCE IN WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEX

**(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an auxiliary light source in wavelength division multiplex for covering many channels with fewer auxiliary light sources at a low cost by combining existing parts without using new devices, and making a restoring time short.

**SOLUTION:** An optical pulse with four or longer wavelengths at intervals of equal wavelength to each other is generated from a WDM light source by using outer modulators EM1 to EM4. When a defective light source is detected, the remaining wavelengths of the normal light sources are combined to generate a four light-wave mixed light beam, that includes the wavelength of the defective light source. The output light equal to the wavelength of the defective light source is extracted from the four light-wave mixed light beam, and the output light is subjected to injection mode locking through a multiple-longitudinal mode oscillation laser to cause the light beam to oscillate in a single mode.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

BEST AVAILABLE COPY

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision  
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] The wavelength division multiplex light source which generates the light pulse of wavelength [ each other ] spacing using an external modulator with four or more waves, A means to generate 4 light-wave mixing light combining the wavelength of the normal remaining light sources so that the wavelength of this failure light source may be included when it detects that the failure was encountered in the one light source, The reserve light source for wavelength division multiplexes characterized by having the optical filter which takes out an output light equal to the wavelength of this failure light source from this 4 light-wave mixing light, and the multi-longitudinal-mode oscillation laser which is made to cause injection locking by this output light, and carries out a single mode oscillation.

[Claim 2] The reserve light source for wavelength division multiplexes characterized by using Fabry-Perot mold semiconductor laser as this multi-longitudinal-mode oscillation laser in claim 1.

[Claim 3] The reserve light source for wavelength division multiplexes characterized by using ring resonator mold laser as this multi-longitudinal-mode oscillation laser in claim 1.

[Claim 4] The reserve light source for wavelength division multiplexes to which the difference of the longitudinal mode of this semiconductor laser and the wavelength of this output light poured into this laser is characterized by preparing further the wavelength control section which tunes this longitudinal mode finely so that it may be settled in the drawing-in range of injection locking in claim 2.

[Claim 5] The reserve light source for wavelength division multiplexes characterized by this wavelength control section controlling the refractive index in a resonator by changing the temperature of this semiconductor laser in claim 4.

[Claim 6] The reserve light source for wavelength division multiplexes characterized by controlling the refractive index in a resonator when this wavelength control section controls the inrush current to this semiconductor laser and changes the carrier consistency in a barrier layer in claim 4.

[Claim 7] The reserve light source for wavelength division multiplexes to which the difference of the longitudinal mode of this ring resonator mold laser and the wavelength of this output light poured into this laser is characterized by preparing further the wavelength control section which tunes this longitudinal mode finely so that it may be settled in the drawing-in range of injection locking in claim 3 [claim 8] The reserve light source for wavelength division multiplexes characterized by this wavelength control section controlling the refractive index in a resonator by changing the temperature of this ring resonator mold laser in claim 7.

[Claim 9] The reserve light source for wavelength division multiplexes to which this wavelength control section was characterized by controlling the ring length of this ring resonator mold laser in claim 7.

[Claim 10] The reserve light source for wavelength division multiplexes to which this generation means was characterized by having the 4 light-wave mixing light generation section using semiconductor light amplifier as a nonlinear medium of Miyoshi in claim 1.

[Claim 11] The reserve light source for wavelength division multiplexes to which this generation

means was characterized by having the 4 light-wave mixing light generation section using the optical fiber as a nonlinear medium of Miyoshi in claim 1.

[Claim 12] The reserve light source for wavelength division multiplexes to which this generation means was characterized by having the 4 light-wave mixing light generation section using distribution feedback mold semiconductor laser as a nonlinear medium of Miyoshi in claim 1.

[Claim 13] The reserve light source for wavelength division multiplexes to which this generation means was characterized by having the wavelength selection section which summarizes the output light of this wavelength division multiplex light source with an optical multiplexing vessel, penetrates two optical filters which set this as desired transmitted wave length, respectively, and is given to this 4 light-wave mixing light generation section in either of claims 10, 11, and 12.

[Claim 14] The reserve light source for wavelength division multiplexes characterized by having the wavelength selection section which this generation means turns output light of this wavelength division multiplex light source as the optical switch according to individual, turns ON only the switch of the wavelength of through and a request, respectively, and is given to this 4 light-wave mixing light generation section in either of claims 10, 11, and 12.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

### [Detailed Description of the Invention]

#### [0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the reserve light source of the multi-wavelength light source (two or more semiconductor laser) used by a light wave length division multiplex (WDM : Wavelength Division Multiplexing) transmission system etc.

[0002] In a current basic system optic fiber communication system, WDM transmission which bundles up mass information and can be transmitted into one optical fiber is becoming in use. This is a method which realizes mass transmission by putting information on each laser beam from which wavelength differs, and multiplexing this.

[0003] Therefore, mass transmission (hundreds Gb/s) can be realized by increasing the number of wavelength (the number of channels) to be used, without gathering the modulation rate (bit rate) of each laser by force. Generally the distribution feedback mold semiconductor laser (DFB-LD:Distributed Feed-Back LD) excellent in the single longitudinal-mode (single wavelength) oscillation is used for the light source of a wavelength division multiplex (it may be hereafter called WDM for short) transmission system. The oscillation wavelength of each laser is standardized by the International Telecommunications Union (ITU-T), and the wavelength grid from which each wavelength spacing is set to about 0.8nm (it is 100GHz spacing at a frequency) is set up in current.

[0004] For this reason, the technique of stabilizing oscillation wavelength is widely used by controlling the temperature of installation and laser for the equipment called the wavelength locker (wavelength control) module which controls wavelength to a precision to each light source to high degree of accuracy. Moreover, since the advantage of a WDM transmission system is in the point which can increase transmission capacity by making the number of channels increase, a mass WDM transmission system, such as 32 channels, is examined by recent years.

[0005] However, if the number of channels increases in this way, the probability for a failure to occur in the light source of a certain channel of them during system operation will become high. If a failure occurs in the light source, the channel must be turned OFF and it must change to the reserve light source. Since the channel which a failure generates cannot be expected, the reserve light source which can cover all the WDM wavelength standardized as mentioned above is needed.

#### [0006]

[Description of the Prior Art] The conventional reserve light source for WDM is roughly divided, and has two types. One of them is equipped with every one spare semiconductor laser LD10, LD20, and LD30 and .... every channels Ch [ Ch1, Ch2, and ] 3, as shown in drawing 13 .

[0007] Another newly makes semiconductor laser LD10, LD20, and LD30 and a wavelength component equal to the wavelength of .... which prepared the wavelength adjustable reserve light source LDS separately to the whole, and was lost according to the failure according to the wavelength adjustable reserve light source LDS, as shown in drawing 14 . The former method is described first. This method is replaced by another light source with equal oscillation wavelength instead of being that light source, when a failure occurs in the light source of a certain channel.

[0008] However, as mentioned above, the oscillation wavelength of the light source needs to

exchange the whole unit including a wavelength locker module in order to have to carry out precision control with a wavelength locker. Therefore, every one spare unit will be prepared to all channels as a graphic display.

[0009] Next, the latter approach is described. Although there are various types of the wavelength adjustable light sources LDS, some which are generally used widely have two, the type (a mechanical cable type and optical) using feedback by (1) diffraction grating etc., and type [ using the temperature change of (2) DFB-LD ] \*\*.

[0010] First, each a mechanical cable type and optical principle is shown in drawing 15 (1) and (2) about a type (1). making one end-face 100a of semiconductor laser 100 into areflexia (AR:Anti-Reflection), applying that output light to a diffraction grating 101, and making it reflect with a reflecting mirror 102 in the case of this drawing (1) — moreover, the case of this drawing (2) makes only a desired wavelength component (this example  $\lambda/3$ ) feed back to laser 100 again by making it reflect by diffraction-grating 101 the very thing Consequently, laser 100 is oscillated on the wavelength of feedback light.

[0011] Therefore, it will become wavelength adjustable, if the include angle of a diffraction grating 101 is changed mechanically, a grid pitch is changed optically or (this drawing (2)) the wavelength of feedback light is changed. The wavelength adjustable range of this technique amounts to several 10nm. On the other hand, a type (2) is an approach using the oscillation wavelength temperature dependence of the DFB semiconductor laser 100, as shown in this drawing (3). If the temperature of laser 100 is changed, the refractive index of the laser 100 interior will change and the cavity length on appearance will change. If cavity length changes, oscillation wavelength will also change corresponding to it.

[0012] Generally, since this dependency is 0.1 nm/deg. extent, considering the temperature proof stress of a device, it stops at the adjustable range of about 5–6nm at DFB semiconductor laser.

[0013]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] If the number of channels increases with large-capacity-izing of a system when the above-mentioned conventional example is used, a problem will arise in respect of being various. First, in the case of the WDM transmission system of several ten channels, a huge number of reserve units must be prepared by the method shown in drawing 13 equipped with every one spare laser for every channel, and it is dramatically disadvantageous by the tooth space and both sides of cost. Moreover, in order to exchange a reserve unit the whole round head, the point which requires time amount for reinstatement is also a problem.

[0014] Next, in the case of the method using the wavelength adjustable light source, in the example of the mechanical cable type of the optical feedback shown in drawing 15 (1), the equipment which carries out precision control of the diffraction grating causes a cost rise. Moreover, in order to control an optic mechanically, it is dramatically weak to an oscillation or heat fluctuation, and, as for it being in a multi-longitudinal-mode oscillation condition depending on the case etc., dependability has many troubles operational stability and over a long period of time.

[0015] On the other hand, in the optical example of the optical feedback shown in this drawing (2), although DBR (DistributedBragg Reflector) semiconductor laser is developed, there are difficulties, like a price's being high and an oscillation mode jump tend to take place. Moreover, since in the case of a multi-channel system it thinks also when the two or more light sources break down at a coincidence term, it is necessary to prepare two or more reserve light sources. Therefore, since the cost per reserve light source piece is high, system-wide cost will go up.

[0016] Although it is advantageous in cost if compared with the example which the configuration became simple on the other hand in the example using the temperature characteristic shown in this drawing (3), and was shown in this drawing (1) and (2) In order to cover the wavelength region (for example, wavelength spacing  $0.8\text{nm} \times 32\text{ch} = 25.6\text{nm}$ ) of all channels since the adjustable range is narrow (about 5–6nm) as mentioned above, two or more reserve light sources which operate in each band must be prepared.

[0017] Therefore, many channels can be covered by the fewest possible reserve light source, and a new device is not built, but it can realize in the combination of the existing components

(low-cost-izing), and this invention aims at offering the light source for wavelength division multiplexes with the short time amount to release complete.

[0018]

[Means for Solving the Problem] In order to attain the above-mentioned object, the phenomenon called the longitudinal-mode injection locking of multi-longitudinal-mode oscillation laser is used as the reserve light source for WDM. This phenomenon is indicated by "Intermodal Injection Locking of Semiconductor Lasers (injection locking between the modes of semiconductor laser)" of L.Goldberg and H.F.Taylor and J.F.Weller, Electron.Lett., Vol.20, No.20, pp.809-811, and 1984.

[0019] This phenomenon oppresses the excessive longitudinal mode and makes a single mode oscillation cause on the wavelength of impregnation light by pouring in coherent light with feeble single wavelength (single mode) from the exterior of multi-longitudinal-mode laser. At this time, only the desired mode can be oscillated among the many longitudinal modes by choosing the wavelength of impregnation light suitably.

[0020] The general example of a configuration of longitudinal-mode injection locking is shown in drawing 1. The feeble light outputted from the single longitudinal-mode laser (master laser: oscillation frequency  $f_M$ ) 61 whose oscillation wavelength is stable is poured into the multi-longitudinal-mode laser (slave laser: center frequency  $f_S$ ) 63 through an optical isolator 62.

[0021] When it is within limits to which it is most close to the longitudinal-mode oscillation frequency (the example of a graphic display wavelength  $\lambda_3$ ) of the master laser 61, and frequency difference  $|f_M - f_S|$  of that longitudinal mode and master laser 61 is called a "drawing-in range" (generally about about tenGHz) among the many longitudinal modes of the slave laser 63 at this time, a longitudinal-mode component is drawn in impregnation light (wavelength  $\lambda_3$ ), and the other many longitudinal modes are oppressed.

[0022] Consequently, the energy of a repressed multi-longitudinal-mode component shifts to oscillation mode, and will be in the condition of a single longitudinal-mode oscillation mostly by high peak power. The example of an experimental result is shown in drawing 2. That oppression ratio (power in the power / repressed mode of the mode which synchronized) becomes large, so that impregnation light power is large at this time.

[0023] Therefore, in order to constitute the reserve light source for WDM by the above principle, multi-longitudinal-mode laser with Fabry-Perot mode spacing almost equal to channel spacing (frequency spacing) set up by the wavelength grid of WDM is made into the reserve light source, and the light source and wavelength which were lost according to the failure should just carry out injection locking of this with another equal feeble light.

[0024] However, becoming a problem here is the point how to generate the component poured into multi-longitudinal-mode laser (equivalent to a master laser longitudinal-mode component), i.e., the wavelength component lost with the failure. In order to cause longitudinal-mode injection locking, the power of the component poured in from the exterior does not need to be a high peak so much. If the peak power of impregnation light is high, it will draw so much and a range ( $\Delta$  frequency with the longitudinal mode by which injection locking is carried out to the impregnation light before a synchronization takes place) will only spread.

[0025] So, in this invention, in order to obtain this lost wavelength component, the phenomenon generally called nondegenerate 4 light-wave mixing (it may be called FWM for short below Four Wave Mixing) is used. This phenomenon to "Nonlinear Fiber Optics (nonlinear fiber optics)" of G.P.Agrawal, ACADEMIC PRESS 1989, and P289-P292 like a publication When two light of angular frequency  $\omega_1$  and  $\omega_2$  is poured into the nonlinear medium 70 of Miyoshi as it is known as a nonlinear optical effect of Miyoshi and shown in drawing 3 for example, it is the phenomenon in which the 4 light-wave mixing light which contains the new component of  $2\omega_2 - \omega_1$  and  $2\omega_1 - \omega_2$  in addition to  $\omega_1$  and  $\omega_2$  is generated.

[0026] As mentioned above, in the current WDM transmission system, the wavelength of each light source is standardized and the channel spacing is decided to become constant value on a frequency. That frequency spacing  $\Delta\omega$  is fixed For example, when a failure occurs in a channel Ch3 (frequency =  $\omega_3$ ), If nondegenerate 4 light-wave mixing light ( $2\omega_2 - \omega_1$ ) is made to generate using the component of a channel Ch1 ( $\omega_1$ ) and a channel Ch2 ( $\omega_2$ ) (however,  $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3$ )  $2\omega_2 - \omega_1 = \omega_2 + (\omega_2 - \omega_1)$

$\omega_1 = \omega_2 + \Delta\omega = \omega_3$  It becomes and it becomes possible to obtain the component ( $\omega_3$ ) of the channel Ch3 concerning a failure (however, power is small).

[0027] If the above-mentioned longitudinal-mode injection locking is combined and injection locking of the multi-longitudinal-mode laser is carried out to this, it turns out that the reserve light source for WDM over the channel of arbitration can be constituted. If the above-mentioned configuration is summarized, namely, the reserve light source for wavelength division multiplexes concerning this invention The wavelength division multiplex light source which generates the light pulse of wavelength [ each other ] spacing using an external modulator with four or more waves, A means to generate 4 light-wave mixing light combining the wavelength of the normal remaining light sources so that the wavelength of this failure light source may be included when it detects that the failure was encountered in the one light source, It is characterized by having the optical filter which takes out an output light equal to the wavelength of this failure light source from this 4 light-wave mixing light, and the multi-longitudinal-mode oscillation laser which is made to cause injection locking by this output light, and carries out a single mode oscillation.

[0028] Therefore, it is not necessary to install each reserve light source in each channel and, and the precise wavelength adjustable light source is not required, either. And since wavelength control of the light source of the re-frequencies  $\omega_1$  and  $\omega_2$  is carried out with the wavelength locker at the precision, if the 4 light-wave mixing light ( $\omega_3$ ) to generate is also stable and injection locking happens, the oscillation wavelength of the reserve light source will also be stabilized.

[0029] Moreover, the combination of the two light sources required in order to obtain 4 light-wave mixing component light (channel concerning a failure) will be set to  $\omega_n$  ( $n$  is equivalent to a channel number), then  $\omega_{n+k}$  and  $\omega_{n+2k}$  ( $k$ : an integer (except for 0), however the  $1 \leq n+2k \leq$  all number of channels) in the frequency of the channel which caused the failure, if it generally says.

[0030] At this time,  $k_{\min}$ , then (however, when there is no value which corresponds, respectively, it sets with 0) this combination exist forward maximum by  $k_{\max}$  among  $k$  which fulfills conditions, and exist the negative minimum value in all as  $k_{\max} - k_{\min}$ . Therefore, what is necessary is just to select the combination with which the aforementioned conditions are filled out of the light source which remains, when a failure occurs simultaneously in two or more channels.

[0031] For example, it is also possible to generate  $3 = 2\omega_4$  of  $\omega - \omega_5$  ( $\omega_3 < \omega_4 < \omega_5$ ) using a channel Ch4 ( $\omega_4$ ) and a channel Ch5 ( $\omega_5$ ), and it is also possible to generate  $3 = 2\omega_5$  of  $\omega - \omega_7$  using a channel Ch5 ( $\omega_5$ ) and a channel Ch7 ( $\omega_7$ ). Moreover, as the above-mentioned multi-longitudinal-mode oscillation laser, Fabry-Perot mold semiconductor laser or ring resonator mold laser can be used.

[0032] Moreover, it is desirable to prepare further the wavelength control section to which the difference of the longitudinal mode of the above-mentioned laser and the wavelength of this output light poured into this laser tunes this longitudinal mode finely so that it may be settled in the drawing-in range of injection locking. This wavelength control section can control the refractive index in a resonator by changing the temperature of this semiconductor laser by controlling the refractive index in a resonator, or controlling the inrush current to this semiconductor laser, and changing the carrier consistency in a barrier layer.

[0033] Or by changing the temperature of this ring resonator mold laser, the refractive index in a resonator is controlled or this wavelength control section can also control the ring length of this ring resonator mold laser. Furthermore, the 4 light-wave mixing light generation section using semi-conductor light amplifier, an optical fiber, or distribution feedback mold semiconductor laser as a nonlinear medium of Miyoshi can be prepared.

[0034] And the output light of this wavelength division multiplex light source can be further summarized with an optical multiplexing vessel, and the wavelength selection section which penetrates two optical filters which set this as desired transmitted wave length, respectively, gives to this 4 light-wave mixing light generation section, or turns output light of this wavelength division multiplex light source as the optical switch according to individual, turns ON only the switch of the wavelength of through and a request, respectively, and is given to this 4 light-wave



mixing light generation section can be prepared.

[0035] As mentioned above, according to this invention, since the reserve light source can be constituted from combination of the existing optical devices, such as semi-conductor light amplifier and an optical fiber, as multi-longitudinal-mode laser as Fabry-Perot mold semiconductor laser, ring laser, and a nonlinear medium, low cost-ization is realizable.

[0036] Moreover, for a certain reason, the wavelength range where longitudinal-mode injection locking happens has about at least 20nm of merits that all WDM channels can be covered only by the one reserve light source, by general AlGaAs or InGaAsP semiconductor laser. Furthermore, since optical phenomena are used for the change to the reserve light source, the advantage that a change can be done comparatively quickly is also acquired.

[0037]

[Embodiment of the Invention] The example of the reserve light source for wavelength division multiplexes concerning above-mentioned this invention is explained below with reference to drawing. Drawing 4 (1) shows the whole example configuration of this invention. this example — the WDM light source LS, the wavelength selection section 1, the FWM light generation section 2, a filter 3, the reserve light source section 4, the wavelength control section 5, and the modulation section 6 — \*\* — it is constituted.

[0038] The WDM light source LS is used as four or more channels, and it has the structure which modulates the output light of semiconductor laser LD1-LD4 by external modulators EM1-EM4, respectively. Here, the case where a failure occurs in semiconductor laser LD3 (wavelength  $\lambda_3$ ) is considered. This is inputted into the wavelength selection section 1 as a part of output light (direct-current light) of each semiconductor laser LD is shown in ejection and this drawing (2). Here, in order to obtain a part for 4 light-wave mixing (FWM) Mitsunari equivalent to wavelength  $\lambda_3$ , only the component of semiconductor laser LD1 and LD2 is penetrated.

[0039] Next, these transmitted lights are inputted into the 4 light-wave mixing (FWM) light generation section 2, the FWM light equivalent to wavelength  $\lambda_3$  is generated, and only the component of this wavelength  $\lambda_3$  is started with a filter 3. That is, when it detects that the failure was encountered in the one light source in the WDM light source LS, a means 10 to generate FWM light combining the wavelength of the normal remaining light sources so that the wavelength of this failure light source may be included consists of the wavelength selection section 1 and the FWM light generation section 2.

[0040] The component of this wavelength  $\lambda_3$  is poured into the reserve light source section 4 with multi-longitudinal-mode laser, and longitudinal-mode injection locking is made to cause. However, if mode spacing of multi-longitudinal-mode laser is set to  $\Delta f$  and grid wavelength spacing of WDM is set to  $\Delta f_w$  at this time,  $\Delta f_w = n \cdot \Delta f$  ( $n$ : forward integer) shall be filled.

[0041] Consequently, the output of the reserve light source section 4 becomes only the single mode component of wavelength  $\lambda_3$  mostly. After inputting this into the modulation section 6 corresponding to an external modulator EM 3 and putting a signal on the last, it has composition transmitted to a transmission line. However, in order to perform injection locking certainly, it is desirable [ the reserve light source section 4 ] to carry out feedback control of the output light by the wavelength control section 5 generally called a wavelength locker so that it may mention later.

[0042] Next, drawing 5 explains the wavelength selection section 1 first as an example for every block shown in drawing 4 . In the example of this drawing (1), the optical filter is used, the output light (wavelength  $\lambda_1$ - $\lambda_n$ ) from each light source is multiplexed to one by the array waveguide 11, and after branching to two with an optical multiplexer/demultiplexer 12, it lets this pass to the respectively different optical filters 13 and 14.

[0043] The transmitted wave length of each filters 13 and 14 is changed by the controllers 15 and 16 which receive the failure detection signal of each light source, respectively, and it sets up so that only two desired wavelength (it is wavelength  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$  at the example of drawing 4 ) may penetrate. Finally these are multiplexed with the optical multiplexer/demultiplexer 17. In the example of this drawing (2), the optical switch is used, only the switch of desired wavelength is turned ON for an optical switch 18 ( $18_1$ - $18_n$ ) at output light

(wavelength  $\lambda_1$ – $\lambda_n$ ) based on installation and a failure detection signal, respectively from each light source, and it is multiplexing with the optical multiplexing vessel 19.

[0044] Next, drawing 6 explains the example of the FWM light generation section 2. The example of a configuration at the time of using semi-conductor light amplifier (SOA) is first shown in this drawing (1) as a nonlinear medium. Incidence of the output light from the wavelength selection section 1 is carried out to the semi-conductor light amplifier 22 through an optical isolator (OI) 21. An optical isolator 21 is for making it the natural magnification bleedoff light from the semi-conductor light amplifier 22 not leak to the preceding paragraph.

[0045] Again through the light by which outgoing radiation was carried out, it outputs to an optical isolator 23 from the semi-conductor light amplifier 22. An optical isolator 23 is for preventing the excessive reflected light from the output side of this FWM light generation section 2 etc. carrying out incidence to the semi-conductor light amplifier 22, and this carrying out instability actuation. As a nonlinear medium, the example at the time of using an optical fiber is shown in this drawing (2). Incidence of the output light from the wavelength selection section 1 is carried out to an optical fiber 24 through an optical isolator (OI) 21. An optical isolator 21 is for making it the reflected light in an optical fiber 24 not leak to the preceding paragraph. It lets again the light by which outgoing radiation was carried out from the optical fiber 24 pass to an optical isolator 23. An optical isolator 23 is for the excessive reflected light from the output side of the FWM light generation section 2 etc. preventing carrying out incidence to an optical fiber 24.

[0046] As a nonlinear medium, the example at the time of using distribution feedback mold semiconductor laser (DFB-LD) further is shown in this drawing (3). Incidence of the light from the wavelength selection section 1 is carried out from the monitor end face of the DFB semiconductor laser 25 through an optical isolator 21. An optical isolator 21 is for making it the oscillation component and natural magnification bleedoff light of the DFB semiconductor laser 25 not leak to the preceding paragraph.

[0047] It lets again the light which came out from the outgoing radiation edge of the DFB semiconductor laser 25 pass to an optical isolator 23. An optical isolator 23 is for preventing the excessive reflected light from the output side of the FWM light generation section 2 etc. carrying out incidence to the DFB semiconductor laser 25, and this carrying out instability actuation. However, in the case of this example, the oscillation wavelength of the DFB semiconductor laser 25 is not in agreement, serves as master laser as this DFB semiconductor laser 25 shows to drawing 1, and does not carry out longitudinal-mode injection locking of the reserve light source section 4 to the longitudinal mode of the latter reserve light source section 4.

[0048] Next, drawing 7 explains the example of the reserve light source section 4. The example of a configuration at the time of using Fabry-Perot semiconductor laser (FP-LD) for the reserve light source section 4 is shown in this drawing (1). Incidence of the output light from a filter 3 is carried out from the monitor end face of the FP semiconductor laser 42 through an optical isolator (OI) 41. An optical isolator 41 is for making it the oscillation component and natural magnification bleedoff light of the FP semiconductor laser 42 not leak to the preceding paragraph.

[0049] It lets again the light which came out from the outgoing radiation edge of the FP semiconductor laser 42 pass to an optical isolator 43. An optical isolator 43 is for preventing the excessive reflected light from the output side of the reserve light source section 4 etc. carrying out incidence to the FP semiconductor laser 42, and this carrying out instability actuation. The example of a configuration at the time of using ring laser for the reserve light source section 4 is shown in this drawing (2). Although there are a fiber type and a waveguide type of ring laser 44, the waveguide type which can shorten cavity length comparatively here is used.

[0050] Incidence of the output light from a filter 3 is carried out from one port A of ring laser 44 through an optical isolator (OI) 41. An optical isolator 45 is for making it the oscillation component and natural magnification bleedoff light of ring laser 44 not leak to the preceding paragraph. By inserting an optical isolator 45 into ring laser 44, it prevents light's advancing bidirectionally and carrying out instability actuation of the inside of a ring 46. It lets again the light which came out from the port B of another side of ring laser 44 pass to an optical isolator

42. An optical isolator 42 is for preventing the excessive reflected light from the output side of the reserve light source section 4 etc. carrying out incidence to ring laser 44, and this carrying out instability actuation.

[0051] Next, drawing 8 explains the example of the wavelength control section 5. The wavelength control section 5 gives the error which a part of output light of the reserve light source section 4 was inputted into ejection, it inputted this into the wavelength error detecting element 51, and was detected to the reserve light source section 4 as a wavelength control signal by the error signal-processing section 52, and performs feedback control. Setting-out wavelength of a wavelength locker is made into one of WDM grid wavelength at this time.

[0052] Consequently, the wavelength of each longitudinal mode of the reserve light source section (multi-longitudinal-mode laser) 4 satisfies all WDM grid wavelength at least. Here, when the reserve light source section 4 is FP semiconductor laser (refer to drawing 7 (1)), if a refractive index is changed by controlling the temperature of semiconductor laser 42 and the cavity length on appearance is changed as shown in drawing 9, oscillation wavelength can be tuned finely. Therefore, what is necessary is to use the detecting signal from installation and the wavelength locker 5 for the reserve light source section 4, and just to carry out temperature control of Peltier device 48 to it.

[0053] Moreover, when the reserve light source section 4 is FP semiconductor laser, as shown in drawing 10, the inrush current (carrier consistency inside a semiconductor laser barrier layer) to semiconductor laser can be controlled, a refractive index can be changed, and oscillation wavelength can also be finely tuned by changing the cavity length on appearance. Therefore, what is necessary is just to control an inrush current by this example using the detecting signal from the wavelength locker 5.

[0054] Moreover, if cavity length is changed by controlling the temperature of ring laser 44 as shown in drawing 11 when the reserve light source section 4 is ring laser (refer to drawing 7 (2)), oscillation wavelength can be tuned finely. Therefore, what is necessary is to use the detecting signal from installation and the wavelength locker 5 for the reserve light source section 4, and just to carry out temperature control of Peltier device 48 to it.

[0055] Furthermore, if the cavity length of ring laser 44 is mechanically controlled to be shown in drawing 12 when the reserve light source section 4 is ring laser, oscillation wavelength can be tuned finely. Therefore, what is necessary is to insert the optical delay machine (delay line) 49 into the ring of ring laser 44, and just to control this mechanically using the detecting signal from the wavelength locker 5.

[0056]

[Effect of the Invention] As explained above, according to the reserve light source for wavelength division multiplexes concerning this invention The WDM light source generates the light pulse of wavelength [ each other ] spacing using an external modulator with four or more waves. When it detects that the failure was encountered in the one light source, 4 light-wave mixing light is generated combining the wavelength of the normal remaining light sources so that the wavelength of this failure light source may be included. Since it constituted so that injection locking might be made to cause by this output light and the single mode oscillation of the output light equal to the wavelength of this failure light source might be carried out from this 4 light-wave mixing light by the multi-longitudinal-mode oscillation laser as ejection and the reserve light source A WDM light source channel can be covered only by combining the one reserve light source and the existing components, and the reserve light source for WDM with the short release time is acquired by low cost.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

### [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the principle explanatory view of longitudinal-mode injection locking used for the reserve light source for wavelength division multiplexes concerning this invention.

[Drawing 2] It is the graphical representation having shown the example of measurement used for the reserve light source for wavelength division multiplexes concerning this invention.

[Drawing 3] It is the principle explanatory view of nondegenerate 4 light-wave mixing (FWM) used for the reserve light source for wavelength division multiplexes concerning this invention.

[Drawing 4] It is the whole block diagram showing the example of the reserve light source for wavelength division multiplexes concerning this invention.

[Drawing 5] It is the block diagram showing the example of the wavelength selection section used for the reserve light source for wavelength division multiplexes concerning this invention.

[Drawing 6] It is the block diagram showing the example of the FWM light generation section used for the reserve light source for wavelength division multiplexes concerning this invention.

[Drawing 7] It is the block diagram showing the example of the reserve light source section used for the reserve light source for wavelength division multiplexes concerning this invention.

[Drawing 8] It is the block diagram showing the example of the wavelength control section used for the reserve light source for wavelength division multiplexes concerning this invention.

[Drawing 9] It is the block diagram showing the example in the case of controlling the temperature of the Fabry-Perot mold semiconductor laser in the reserve light source section used for the reserve light source for wavelength division multiplexes concerning this invention.

[Drawing 10] It is the block diagram showing the example in the case of controlling the inrush current to the Fabry-Perot mold semiconductor laser in the reserve light source section used for the reserve light source for wavelength division multiplexes concerning this invention.

[Drawing 11] It is the block diagram showing the example in the case of controlling the temperature of the ring laser in the reserve light source section used for the reserve light source for wavelength division multiplexes concerning this invention.

[Drawing 12] It is the block diagram showing the example in the case of controlling the ring length of the ring laser in the reserve light source section used for the reserve light source for wavelength division multiplexes concerning this invention.

[Drawing 13] It is the block diagram showing the conventional example for wavelength division multiplexes of the reserve light source (1).

[Drawing 14] It is the block diagram showing the conventional example for wavelength division multiplexes of the reserve light source (2).

[Drawing 15] It is the block diagram having shown the wavelength adjustable method in the conventional example for wavelength division multiplexes of the reserve light source (2).

### [Description of Notations]

LS Wavelength division multiplex (WDM) light source

LD1-LD4 Semiconductor laser

EM1-EM4 External modulator

1 Wavelength Selection Section

2 4 Light-Wave Mixing (FWM) Light Generation Machine

3 Filter  
4 Reserve Light Source Section (Multi-Longitudinal-Mode Oscillation Laser)  
5 Wavelength Control Section  
6 Modulation Section  
11 Array Mold Waveguide  
12 19 Optical multiplexing machine  
13 14 Optical filter  
15 16 Controller  
17 Optical Separator  
18 (181-18n) Optical switch  
21, 23, 41, 43, 45 Optical isolator  
22 Semi-conductor Amplifier  
24 Optical Fiber  
25 Distribution Feedback Mold Semiconductor Laser  
42 Fabry-Perot Mold Semiconductor Laser  
44 Ring Laser  
46 Ring  
47 Optical Multiplexer/demultiplexer  
48 Peltier Device  
49 Optical Delay Machine  
51 Wavelength Error Detector  
52 Error Signal-Processing Section  
The same sign shows the same or a considerable part among drawing.

---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-277849  
(P2000-277849A)

(43) 公開日 平成12年10月6日 (2000.10.6)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	キーワード (参考)
H 0 1 S	5/0687	H 0 1 S 3/18	6 3 8 5 F 0 7 3
H 0 4 J	14/00	H 0 4 B 9/00	E 5 K 0 0 2
	14/02		H
H 0 4 B	10/02		

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平11-82036

(22) 出願日 平成11年3月25日 (1999.3.25)

(71) 出願人 000005223  
富士通株式会社  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(71) 出願人 391012224  
名古屋大学長  
愛知県名古屋市千種区不老町 (番地なし)

(72) 発明者 後藤 了祐  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100090011  
弁理士 茂泉 修司

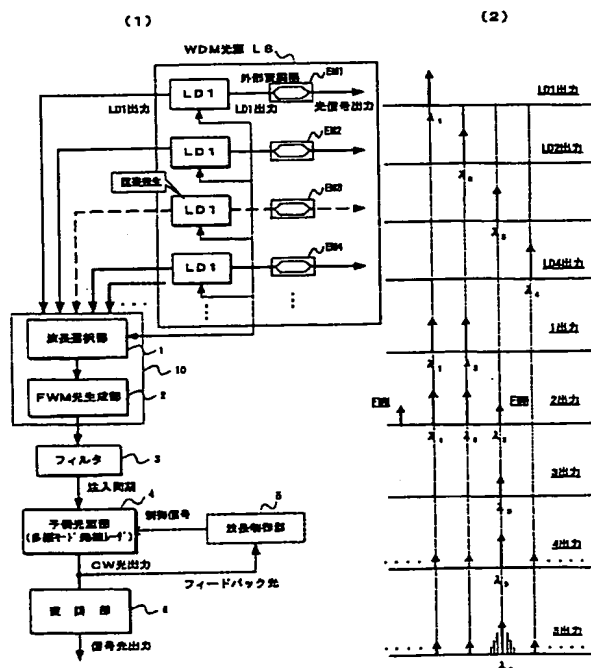
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長分割多重用予備光源

(57) 【要約】

【課題】 できるだけ少ない予備光源で多くのチャンネルをカバーでき、新たなデバイスを作るのではなく既存の部品の組み合わせで実現でき (低コスト化)、そして復旧完了までの時間が短い波長分割多重用光源を提供する。

【解決手段】 WDM光源により4波長以上で互いに等波長間隔の光パルスを外部変調器を用いて生成し、一つの光源に障害が起こったことを検出した時、該障害光源の波長を含むように残りの正常な光源の波長を組み合わせる四光波混合光を生成し、該四光波混合光から該障害光源の波長に等しい出力光を取り出し、多縦モード発振レーザで該出力光により注入同期を起こさせて単一モード発振させる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】4波長以上で互いに等波長間隔の光パルス  
を外部変調器を用いて生成する波長分割多重光源と、  
一つの光源に障害が起こったことを検出した時、該障害  
光源の波長を含むように残りの正常な光源の波長を組み  
合わせて四光波混合光を生成する手段と、  
該四光波混合光から該障害光源の波長に等しい出力光を  
取り出す光フィルタと、  
該出力光により注入同期を起こさせて単一モード発振さ  
せる多縦モード発振レーザと、  
を備えたことを特徴とする波長分割多重用予備光源。

【請求項2】請求項1において、  
該多縦モード発振レーザとして、Fabry-Perot型半導体  
レーザを用いることを特徴とした波長分割多重用予備光  
源。

【請求項3】請求項1において、  
該多縦モード発振レーザとして、リング共振器型レーザ  
を用いることを特徴とした波長分割多重用予備光源。

【請求項4】請求項2において、  
該半導体レーザの縦モードと、このレーザに注入する該  
出力光の波長との差が、注入同期の引き込みレンジ内に  
収まるよう該縦モードを微調整する波長制御部をさらに  
設けたことを特徴とする波長分割多重用予備光源。

【請求項5】請求項4において、  
該波長制御部が、該半導体レーザの温度を変化させるこ  
とにより共振器中の屈折率を制御することを特徴とする  
波長分割多重用予備光源。

【請求項6】請求項4において、  
該波長制御部が、該半導体レーザへの注入電流を制御し  
て活性層内のキャリア密度を変化させることにより共振  
器中の屈折率を制御することを特徴とした波長分割多重  
用予備光源。

【請求項7】請求項3において、  
該リング共振器型レーザの縦モードと、このレーザに注  
入する該出力光の波長との差が、注入同期の引き込みレ  
ンジ内に収まるよう該縦モードを微調整する波長制御部  
をさらに設けたことを特徴とする波長分割多重用予備光  
源

【請求項8】請求項7において、  
該波長制御部が、該リング共振器型レーザの温度を変化  
させることにより共振器中の屈折率を制御することを特  
徴とした波長分割多重用予備光源。

【請求項9】請求項7において、  
該波長制御部が、該リング共振器型レーザのリング長を  
制御することを特徴とした波長分割多重用予備光源。

【請求項10】請求項1において、  
該生成手段が、三次の非線形媒質として半導体光アンプ  
を用いた四光波混合光生成部を有することを特徴とした  
波長分割多重用予備光源。

【請求項11】請求項1において、

該生成手段が、三次の非線形媒質として光ファイバを用  
いた四光波混合光生成部を有することを特徴とした波長  
分割多重用予備光源。

【請求項12】請求項1において、  
該生成手段が、三次の非線形媒質として分布帰還型半導  
体レーザを用いた四光波混合光生成部を有することを特  
徴とした波長分割多重用予備光源。

【請求項13】請求項10、11、及び12のいずれか  
において、

10 該生成手段が、該波長分割多重光源の出力光を光合波器  
でまとめ、これを所望の透過波長にそれぞれ設定した2  
つの光フィルタを透過して該四光波混合光生成部に与え  
る波長選択部を有することを特徴とした波長分割多重用  
予備光源。

【請求項14】請求項10、11、及び12のいずれか  
において、

該生成手段が、該波長分割多重光源の出力光をそれぞれ  
個別の光スイッチに通し、所望の波長のスイッチのみを  
オンにして該四光波混合光生成部に与える波長選択部を  
有することを特徴とした波長分割多重用予備光源。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光波長分割多重  
(WDM: Wavelength Division Multiplexing) 伝送シス  
テム等で用いられる、多波長光源(複数の半導体レー  
ザ)の予備光源に関するものである。

【0002】現在の基幹系光ファイバ通信システムで  
は、一本の光ファイバ中に大容量の情報を一括して送信  
できるWDM伝送が主流になりつつある。これは、波長の  
異なる各レーザ光に情報を乗せ、これを合波することによ  
り、大容量伝送を実現する方式である。

【0003】従って、各レーザの変調速度(ビットレ  
ート)を無理に上げること無く、使用する波長数(チャ  
ネル数)を増やすことで、大容量伝送(数百Gb/s)が実  
現できる。波長分割多重(以下、WDMと略称することが  
ある)伝送システムの光源には、一般に、単一縦モード  
(単一波長)発振に優れた分布帰還型半導体レーザ(D  
FB-LD: Distributed Feed-Back LD)が用いられる。各レ  
ーザの発振波長は、国際電気通信連合(ITU-T)によ  
って標準化されており、現在では、各波長間隔が約0.8nm  
(周波数で100GHz間隔)となる波長グリッドが設定され  
ている。

【0004】このため、各光源に波長を精密に制御する  
波長ロッカー(波長制御)モジュールと呼ばれる装置を  
取り付け、レーザの温度を高精度に制御することによ  
り、発振波長を安定化させる手法が広く用いられてい  
る。また、WDM伝送システムの長所は、チャンネル数を  
増加させることで伝送容量を増加できる点に在るため、  
近年では32チャンネルというような大容量WDM伝送シス  
テムが検討されている。

【0005】しかしながら、このようにチャンネル数が増加してくると、システム稼働中に、そのうちの或チャンネルの光源に障害が発生する確率が高くなる。光源に障害が発生すると、そのチャンネルをオフにし、予備光源に切り替えねばならない。障害が発生するチャンネルは予想できるわけではないので、前述のように標準化されたWDM波長を、すべてカバーできる予備光源が必要になる。

【0006】

【従来の技術】従来のWDM用予備光源は、大きく分けて2つのタイプがある。その一つは図13に示す如く、チャンネルCh1, Ch2, Ch3毎に一つずつ予備の半導体レーザLD10, LD20, LD30, ……を備えるものである。

【0007】もう一つは、図14に示す如く、半導体レーザLD10, LD20, LD30, ……の全体に対して波長可変予備光源LD<sub>3</sub>を別途用意し、障害によって失われた波長と等しい波長成分を波長可変予備光源LD<sub>3</sub>により新たに作り出すというものである。まず前者の方式について述べる。この方式は、あるチャンネルの光源に障害が発生した場合、その光源の代わりに、発振波長の等しい別の光源で置き換えるものである。

【0008】しかしながら上述したように、光源の発振波長は波長ロッカーによって精密制御しなければならないため、波長ロッカーモジュールを含めたユニット全体を交換する必要がある。従って、全チャンネルに対し、図示のとおり、予備のユニットを一つずつ用意することとなる。

【0009】次に、後者の方法について述べる。波長可変光源LD<sub>3</sub>には色々なタイプがあるが、一般に広く使われているものは、(1)回折格子などによるフィードバックを利用するタイプ(機械式と光学式)と、(2)DFB-LDの温度変化を利用するタイプ、の二つがある。

【0010】まず、タイプ(1)について、機械式と光学式の各原理を図15(1)及び(2)に示す。半導体レーザ100の一方の端面100aを無反射(AR: Anti-Reflection)とし、その出力光を回折格子101に当て、同図(1)の場合は反射鏡102で反射させることにより、また同図(2)の場合は回折格子101自体で反射させることにより、所望の波長成分(この例ではλ<sub>1</sub>)のみを再びレーザ100へフィードバックさせる。この結果、レーザ100はフィードバック光の波長で発振する。

【0011】従って、回折格子101の角度を機械的に変化させるか(同図(1))、あるいは格子ピッチを光学的に変化させるか(同図(2))により、フィードバック光の波長を変化させれば波長可変となる。この手法の波長可変範囲は数10nmに及ぶ。一方、タイプ(2)は、同図(3)に示す如く、DFB半導体レーザ100の発振波長温度依存性を利用した方法である。レーザ100の温度を変化させると、レーザ100内部の屈折率が変化し、見かけ上の共振器長が変化する。共振器長が変化すれば、それに対応して発

振波長も変化する。

【0012】一般的にDFB半導体レーザでは、この依存性が0.1nm/deg.程度であるため、デバイスの温度耐力を考えると、5~6nm程度の変動範囲に留まる。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】上記の従来例を用いた場合、システムの大容量化に伴ってチャンネル数が増加すると、色々な面で問題が生ずる。まず、各チャンネル毎に一つずつ予備のレーザを備える図13に示した方式では、数10チャンネルのWDM伝送システムの場合、膨大な数の予備ユニットを用意しておかなければならず、スペース及びコストの両面で非常に不利である。また、予備ユニットを丸ごと交換するため、復旧に時間が掛かる点も問題である。

【0014】次に、波長可変光源を用いる方式の場合には、図15(1)に示した光フィードバックの機械式の例では、回折格子を精密制御する装置がコストアップの原因となっている。また、光学部品を機械的に制御するため、振動や熱変動に非常に弱く、場合によっては多縦モード発振状態になってしまうなど、安定動作・長期信頼性に問題点が多い。

【0015】一方、同図(2)に示した光フィードバックの光学式の例では、DBR(Distributed Bragg Reflector)半導体レーザが開発されているが、価格が高いことや、発振モード飛びが起こり易いなどの難点がある。また、多チャンネルシステムの場合、2つ以上の光源が同時期に故障する場合も考えられるため、予備光源は複数個用意する必要がある。したがって、予備光源一個当たりのコストが高いため、システム全体のコストが上昇してしまう。

【0016】一方、同図(3)に示した温度特性を用いる例では、構成が簡便となり、同図(1)及び(2)に示した例に比べればコスト的に有利であるが、上述したように可変範囲が狭いため(5~6nm程度)、全チャンネルの波長域(例えば、波長間隔0.8nm×32ch=25.6nm)をカバーするためには、それぞれの帯域で動作する予備光源を複数個用意しなければならない。

【0017】従って本発明は、できるだけ少ない予備光源で多くのチャンネルをカバーでき、新たなデバイスを造るのではなく既存の部品の組み合わせで実現でき(低コスト化)、そして復旧完了までの時間が短い波長分割多重用光源を提供することを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、WDM用の予備光源として、多縦モード発振レーザの縦モード注入同期と呼ばれる現象を利用する。この現象については、L. Goldberg, H.F. Taylor and J.F. Weller の "Intermodal Injection Locking of Semiconductor Lasers (半導体レーザのモード間注入同期)", Electro n. Lett., Vol.20, No.20, pp.809-811, 1984に記載さ



れている。

【0019】この現象は、多縦モードレーザの外部より、単一波長（単一モード）の微弱なコヒーレント光を注入することによって、余分な縦モードを抑圧し、注入光の波長で単一モード発振を起こさせるものである。この時、注入光の波長を適当に選ぶことで、多縦モードのうち所望のモードだけを発振させることができる。

【0020】縦モード注入同期の一般的な構成例を図1に示す。発振波長が安定している単一縦モードレーザ（マスタレーザ：発振周波数 $f_m$ ）61から出力された微弱光を、光アイソレータ62を介して、多縦モードレーザ（スレーブレザ：中心周波数 $f_s$ ）63に注入する。

【0021】この時、スレーブレザ63の多縦モードのうちで、マスタレーザ61の縦モード発振周波数（図示の例では波長 $\lambda_s$ ）に最も近接しており、かつその縦モードとマスタレーザ61の周波数差 $|f_m - f_s|$ が「引き込みレンジ」（一般に10数GHz程度）と呼ばれる範囲内にある場合、縦モード成分が注入光（波長 $\lambda_s$ ）に引込まれ、その他の多縦モードが抑圧される。

【0022】その結果、抑圧された多縦モード成分のエネルギーが発振モードへ移行し、高ピークパワーでほぼ単一縦モード発振の状態になる。図2には、その実験結果例が示されている。この時、注入光パワーが大きいほど、その抑圧比（同期されたモードのパワー／抑圧されたモードのパワー）は大きくなる。

【0023】従って、以上の原理によってWDM用の予備光源を構成するには、WDMの波長グリッドで設定されたチャンネル間隔（周波数間隔）とほぼ等しいFabry-Pérotモード間隔を持つ多縦モードレーザを予備光源とし、これを、障害によって失われた光源と波長が等しい別の微弱光で注入同期してやればよい。

【0024】しかしながら、ここで問題となるのは、多縦モードレーザに注入する成分（マスタレーザ縦モード成分に相当）、すなわち障害で失われた波長成分をどのように生成するかという点である。縦モード注入同期を起こすには、外部より注入する成分のパワーは、それほど高ピークである必要はない。注入光のピークパワーが高ければ、それだけ引き込みレンジ（同期が起こる前の、注入光と、注入同期される縦モードとの周波数差）が広がるだけである。

【0025】そこで本発明では、この失われた波長成分を得るために、一般に非縮退四光波混合（Four Wave Mixing:以下、FWMと略称することがある）と呼ばれる現象を用いる。この現象は、G.P.Agrawalの“Nonlinear Fiber Optics（非線形ファイバ光学）”，ACADEMIC PRESS 1989, P289-P292に記載の如く、三次の非線形光学効果として知られており、図3に示す如く、例えば角周波数 $\omega_1$ と $\omega_2$ の2つの光を三次の非線形媒質70に注入すると、 $\omega_1$ 及び $\omega_2$ に加えて $2\omega_1 - \omega_2$ 及び $2\omega_2 - \omega_1$ の新たな成分を含む四光波混合光が生成される現象である。

【0026】上述したように、現在のWDM伝送システムでは、各光源の波長が標準化されており、そのチャンネル間隔は周波数で一定値になるよう決められている。周波数間隔 $\Delta\omega$ が一定であるということは、例えばチャンネルCh3（周波数 $=\omega_3$ ）に障害が発生した場合、チャンネルCh1（ $\omega_1$ ）とチャンネルCh2（ $\omega_2$ ）（但し $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3$ ）の成分を用いて、非縮退四光波混合光（ $2\omega_2 - \omega_1$ ）を生成させれば、 $2\omega_2 - \omega_1 = \omega_2 + (\omega_2 - \omega_1) = \omega_2 + \Delta\omega = \omega_3$ となり、障害に係るチャンネルCh3の成分（ $\omega_3$ ）を得ることが可能となる（但しパワーは小さい）。

【0027】これに、前述の縦モード注入同期を組み合わせ、多縦モードレーザを注入同期させれば、任意のチャンネルに対するWDM用予備光源を構成できることが分かる。すなわち、上記の構成をまとめると、本発明に係る波長分割多重用予備光源は、4波長以上で互いに等波長間隔の光パルスを外部変調器を用いて生成する波長分割多重光源と、一つの光源に障害が起こったことを検出した時、該障害光源の波長を含むように残りの正常な光源の波長を組み合わせる四光波混合光を生成する手段と、該四光波混合光から該障害光源の波長に等しい出力光を取り出す光フィルタと、該出力光により注入同期を起こさせて単一モード発振させる多縦モード発振レーザと、を備えたことを特徴としている。

【0028】従って、各チャンネルに各予備光源を設置する必要もなく、また、精密な波長可変光源も必要でない。しかも、再周波数 $\omega_1$ と $\omega_2$ の光源は、波長ロッカーによって精密に波長制御されているので、生成する四光波混合光（ $\omega_3$ ）も安定しており、注入同期が起これば、予備光源の発振波長も安定化する。

【0029】また、四光波混合成分光（障害に係るチャンネル）を得るために必要な二つの光源の組み合わせは、一般的に言えば、障害を起こしたチャンネルの周波数を $\omega_n$ （ $n$ はチャンネル番号に相当）とすれば、 $\omega_{n-1,k}$ と $\omega_{n+2,k}$ （ $k$ : 整数（0を除く）、但し $1 \leq n+2k \leq$ 全チャンネル数）となる。

【0030】この時、条件を満たす $k$ のうち、正の最大値を $k_{n+2,k}$ 、負の最小値を $k_{n-1,k}$ とすれば（但し、それぞれ該当する値がない場合は0とおく）、この組み合わせは全部で $k_{n+2,k} - k_{n-1,k} + 1$ 通り存在する。従って、複数のチャンネルに同時に障害が発生した場合は、残っている光源の中から、前記の条件を満たす組み合わせを選び出せばよい。

【0031】例えばチャンネルCh4（ $\omega_4$ ）とチャンネルCh5（ $\omega_5$ ）を用いて $\omega_3 = 2\omega_4 - \omega_5$ （ $\omega_3 < \omega_4 < \omega_5$ ）を生成することも可能であり、チャンネルCh5（ $\omega_5$ ）とチャンネルCh7（ $\omega_7$ ）を用いて $\omega_3 = 2\omega_5 - \omega_7$ を生成することも可能である。また、上記の多縦モード発振レーザとしては、Fabry-Pérot型半導体レーザ、或いはリング共振器型レーザを用いることができる。

【0032】また、上記レーザの縦モードと、このレー

ずに注入する該出力光の波長との差が、注入同期の引き込みレンジ内に収まるよう該縦モードを微調整する波長制御部をさらに設けることが好ましい。この波長制御部は、該半導体レーザの温度を変化させることにより共振器中の屈折率を制御するか、または該半導体レーザへの注入電流を制御して活性層内のキャリア密度を変化させることにより共振器中の屈折率を制御することができる。

【0033】或いは該波長制御部は、該リング共振器型レーザの温度を変化させることにより共振器中の屈折率を制御するか、または該リング共振器型レーザのリング長を制御することも可能である。さらに、三次の非線形媒質として半導体光アンプ、光ファイバ、又は分布帰還型半導体レーザを用いた四光波混合光生成部を設けることができる。

【0034】そして、さらに該波長分割多重光源の出力光を光合波器でまとめ、これを所望の透過波長にそれぞれ設定した2つの光フィルタを透過して該四光波混合光生成部に与えるか、または該波長分割多重光源の出力光をそれぞれ個別の光スイッチに通し、所望の波長のスイッチのみをオンにして該四光波混合光生成部に与える波長選択部を設けることができる。

【0035】以上のように、本発明によれば、多縦モードレーザとしてFabry-Perot型半導体レーザやリングレーザ、また非線形媒質として半導体光アンプや光ファイバなど、既存の光デバイスの組み合わせで予備光源を構成できるため、低コスト化が実現できる。

【0036】また、縦モード注入同期の起こる波長範囲は、一般的なAlGaAs、又はInGaAsP半導体レーザなどで少なくとも20nm程度はあるため、一つの予備光源のみで全WDMチャンネルをカバーできるというメリットがある。更に、予備光源への切り替えには光学現象を利用しているため、切り替えが比較的速くできるという利点も得られる。

【0037】

【発明の実施の形態】上記の本発明に係る波長分割多重予備光源の実施例を、図を参照して以下に説明する。図4(1)は本発明の実施例の全体構成を示す。この実施例は、WDM光源LSと波長選択部1とFWM光生成部2とフィルタ3と予備光源部4と波長制御部5と変調部6とで構成されている。

【0038】WDM光源LSは4チャンネル以上とし、半導体レーザLD1~LD4の出力光を外部変調器EM1~EM4によりそれぞれ変調する構造を有する。ここで、半導体レーザLD3(波長 $\lambda_3$ )に障害が発生した場合を考える。各半導体レーザLDの出力光(直流光)の一部を取り出し、同図(2)に示す如く、これを波長選択部1に入力する。ここで、波長 $\lambda_3$ に相当する四光波混合(FWM)光成分を得るため、半導体レーザLD1とLD2の成分のみを透過する。

【0039】次に、これらの透過光を四光波混合(FW

M) 光生成部2に入力し、波長 $\lambda_3$ に相当するFWM光を生成し、この波長 $\lambda_3$ の成分のみをフィルタ3で切り出す。すなわち、波長選択部1とFWM光生成部2とで、WDM光源LS中の一つの光源に障害が起こったことを検出した時、該障害光源の波長を含むように残りの正常な光源の波長を組み合わせるFWM光を生成する手段10を構成している。

【0040】この波長 $\lambda_3$ の成分を、多縦モードレーザのある予備光源部4に注入し、縦モード注入同期を起こさせる。但し、この時、多縦モードレーザのモード間隔を $\Delta f$ とし、WDMのグリッド波長間隔を $\Delta f_0$ とすると、 $\Delta f_0 = n \cdot \Delta f$  ( $n$ : 正の整数)を満たすものとする。

【0041】この結果、予備光源部4の出力は、ほぼ波長 $\lambda_3$ の単一モード成分のみになる。最後に、これを外部変調器EM3に対応した変調部6に入力して信号を乗せた後、伝送路へ送信する構成となっている。但し、予備光源部4は注入同期が確実に行われるようにするため、後述するように、その出力光を一般に波長ロッカーと呼ばれる波長制御部5でフィードバック制御することが好ましい。

【0042】次に、図4に示した各ブロック毎の実施例として、まず波長選択部1について図5により説明する。同図(1)の実施例では光フィルタを用いており、各光源からの出力光(波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ )をアレイ導波路11によって一つに合波し、これを光合分波器12で二つに分岐した後、それぞれ別の光フィルタ13及び14に通す。

【0043】各フィルタ13及び14の透過波長を、それぞれ各光源の障害検出信号を受けるコントローラ15及び16で変化させ、所望の二つの波長(図4の例では波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ )のみが透過するよう設定する。最後にこれらを光合分波器17で合波している。同図(2)の実施例では、光スイッチを用いており、各光源からの出力光(波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ )にそれぞれ光スイッチ18(18<sub>1</sub>~18<sub>n</sub>)を取り付け、障害検出信号に基づいて所望の波長のスイッチのみをオンにし、光合波器19で合波している。

【0044】次に、FWM光生成部2の実施例を図6により説明する。まず非線形媒質として、半導体光アンプ(SOA)を用いた場合の構成例を同図(1)に示す。波長選択部1からの出力光を、光アイソレータ(OI)21を介し、半導体光アンプ22に入射する。光アイソレータ21は、半導体光アンプ22からの自然増幅放光が、前段に漏れ込まないようにするためのものである。

【0045】半導体光アンプ22から出射された光を、再び光アイソレータ23に通して出力する。光アイソレータ23は、このFWM光生成部2の出力側からの余分な反射光などが半導体光アンプ22に入射し、これが不安定動作するのを防ぐためのものである。非線形媒質として、光ファイバを用いた場合の実施例を同図(2)に示す。波長選択部1からの出力光を、光アイソレータ(OI)21を介し光ファイバ24に入射する。光アイソレータ21は、光ファイバ24での反射光が、前段に漏れ込まないようにするための

ものである。光ファイバ24から出射された光を、再び光アイソレータ23に通す。光アイソレータ23は、FWM光生成部2の出力側からの余分な反射光などが、光ファイバ24に入射するのを防ぐためのものである。

【0046】非線形媒質として、さらに分布帰還型半導体レーザ(DFB-LD)を用いた場合の実施例を同図(3)に示す。波長選択部1からの光を、光アイソレータ21を介し、DFB半導体レーザ25のモニタ端面から入射する。光アイソレータ21は、DFB半導体レーザ25の発振成分及び自然増幅放光が、前段に漏れ込まないようにするためのものである。

【0047】DFB半導体レーザ25の出射端から出た光を、再び光アイソレータ23に通す。光アイソレータ23は、FWM光生成部2の出力側からの余分な反射光などがDFB半導体レーザ25に入射し、これが不安定動作するのを防ぐためのものである。但し、本実施例の場合、DFB半導体レーザ25の発振波長は、後段の予備光源部4の縦モードとは一致せず、このDFB半導体レーザ25が図1に示すようなマスターレーザとなって予備光源部4を縦モード注入同期することがないものとする。

【0048】次に、予備光源部4の実施例を図7により説明する。予備光源部4に、Fabry-Perot半導体レーザ(FP-LD)を用いた場合の構成例を同図(1)に示す。フィルタ3からの出力光を、光アイソレータ(OI)41を介し、FP半導体レーザ42のモニタ端面から入射する。光アイソレータ41は、FP半導体レーザ42の発振成分及び自然増幅放光が、前段に漏れ込まないようにするためのものである。

【0049】FP半導体レーザ42の出射端から出た光を、再び光アイソレータ43に通す。光アイソレータ43は、予備光源部4の出力側からの余分な反射光などがFP半導体レーザ42に入射し、これが不安定動作するのを防ぐためのものである。予備光源部4に、リングレーザを用いた場合の構成例を同図(2)に示す。リングレーザ44には、ファイバタイプや導波路タイプがあるが、ここでは共振器長を比較的短くできる導波路タイプを用いている。

【0050】フィルタ3からの出力光を、光アイソレータ(OI)41を介し、リングレーザ44の一方のポートAから入射する。光アイソレータ45は、リングレーザ44の発振成分及び自然増幅放光が、前段に漏れ込まないようにするためのものである。リングレーザ44中に光アイソレータ45を挿入することにより、光がリング46中で双方向に進行して不安定動作することを防ぐ。リングレーザ44の他方のポートBから出た光を、再び光アイソレータ42に通す。光アイソレータ42は、予備光源部4の出力側からの余分な反射光などがリングレーザ44に入射し、これが不安定動作するのを防ぐためのものである。

【0051】次に、波長制御部5の実施例を図8により説明する。波長制御部5は、予備光源部4の出力光の一部を取り出し、これを波長誤差検出部51に入力し、検出し

た誤差を誤差信号処理部52により波長制御信号として予備光源部4に与えてフィードバック制御を行う。この時、波長ロッカーの設定波長は、WDMグリッド波長の内の一つとする。

【0052】この結果、予備光源部(多縦モードレーザ)4の各縦モードの波長は、少なくとも全てのWDMグリッド波長を満足する。ここで、予備光源部4がFP半導体レーザの場合(図7(1)参照)は、図9に示す如く、半導体レーザ42の温度を制御することで屈折率を変化させ、見かけ上の共振器長を変えれば発振波長を微調整できる。従って、予備光源部4にペルチェ素子48を取り付け、波長ロッカー5からの検出信号を用いて温度制御すればよい。

【0053】また、予備光源部4がFP半導体レーザの場合は、図10に示す如く、半導体レーザへの注入電流(半導体レーザ活性層内部のキャリア密度)を制御し、屈折率を変化させ、見かけ上の共振器長を変えることで発振波長を微調整することもできる。従ってこの実施例では、波長ロッカー5からの検出信号を用いて、注入電流を制御すればよい。

【0054】また、予備光源部4がリングレーザの場合(図7(2)参照)は、図11に示す如く、リングレーザ44の温度を制御することで共振器長を変化させれば、発振波長を微調整できる。従って、予備光源部4にペルチェ素子48を取り付け、波長ロッカー5からの検出信号を用いて温度制御すればよい。

【0055】さらに、予備光源部4がリングレーザの場合は、図12に示す如く、リングレーザ44の共振器長を機械的に制御すれば、発振波長を微調整できる。従って、リングレーザ44のリング中に光遅延器(ディレイライン)49を挿入し、これを波長ロッカー5からの検出信号を用いて機械的に制御すればよい。

【0056】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る波長分割多重用予備光源によれば、WDM光源により4波長以上で互いに等波長間隔の光パルスを外変調器を用いて生成し、一つの光源に障害が起こったことを検出した時、該障害光源の波長を含むように残りの正常な光源の波長を組み合わせることで四光波混合光を生成し、該四光波混合光から該障害光源の波長に等しい出力光を取り出し、予備光源としての多縦モード発振レーザで該出力光により注入同期を起こさせて単一モード発振させるように構成したので、1つの予備光源と既存の部品を組み合わせるだけでWDM光源チャンネルをカバーすることができ、低コストで復旧時間が短いWDM用予備光源が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる縦モード注入同期の原理説明図である。

【図2】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる測定例を示したグラフ図である。

【図 3】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる非縮退四光波混合(FWM)の原理説明図である。

【図 4】本発明に係る波長分割多重用予備光源の実施例を示す全体構成図である。

【図 5】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる波長選択部の実施例を示すブロック図である。

【図 6】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる FWM 光生成部の実施例を示すブロック図である。

【図 7】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる予備光源部の実施例を示すブロック図である。

【図 8】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる波長制御部の実施例を示すブロック図である。

【図 9】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる予備光源部における Fabry-Perot 型半導体レーザの温度を制御する場合の実施例を示すブロック図である。

【図 10】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる予備光源部における Fabry-Perot 型半導体レーザへの注入電流を制御する場合の実施例を示すブロック図である。

【図 11】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる予備光源部におけるリングレーザの温度を制御する場合の実施例を示すブロック図である。

【図 12】本発明に係る波長分割多重用予備光源に用いる予備光源部におけるリングレーザのリング長を制御する場合の実施例を示すブロック図である。

【図 13】従来の波長分割多重用予備光源例(1)を示すブロック図である。

【図 14】従来の波長分割多重用予備光源例(2)を示すブロック図である。

【図 15】従来の波長分割多重用予備光源例(2)にお

\*ける波長可変方式を示したブロック図である。

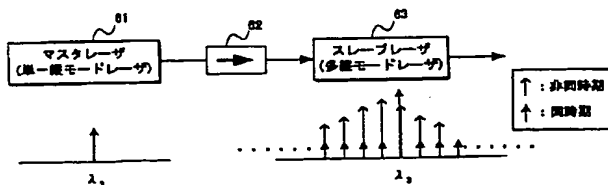
【符号の説明】

- LS 波長分割多重(WDM)光源  
LD1~LD4 半導体レーザ  
EM1~EM4 外部変調器  
1 波長選択部  
2 四光波混合(FWM)光生成器  
3 フィルタ  
4 予備光源部(多縦モード発振レーザ)  
5 波長制御部  
6 変調部  
11 アレイ型導波路  
12,19 光合波器  
13,14 光フィルタ  
15,16 コントローラ  
17 光分波器  
18(18<sub>1</sub>~18<sub>n</sub>) 光スイッチ  
21,23,41,43,45 光アイソレータ  
22 半導体アンプ  
24 光ファイバ  
25 分布帰還型半導体レーザ  
42 Fabry-Perot 型半導体レーザ  
44 リングレーザ  
46 リング  
47 光合分波器  
48 ヘルチエ素子  
49 光遅延器  
51 波長誤差検出器  
52 誤差信号処理部

図中、同一符号は同一又は相当部分を示す。

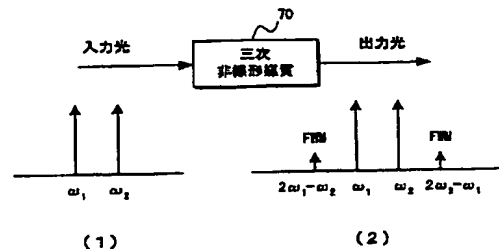
【図 1】

多モード注入同期の原理



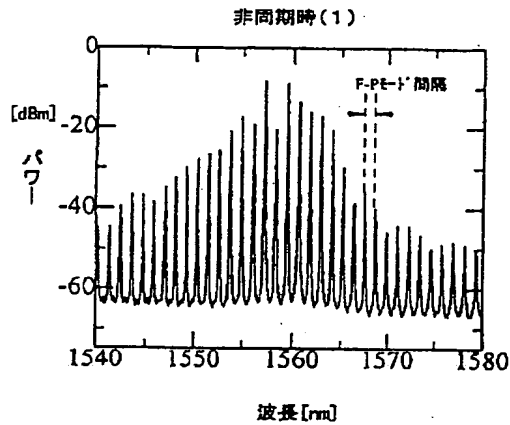
【図 3】

非縮退四光波混合

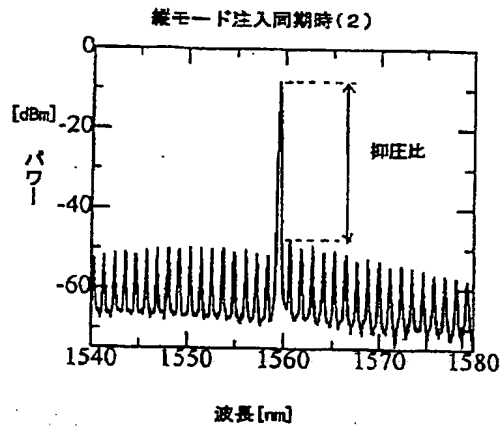


【図2】

## 縦モード注入同期の測定例

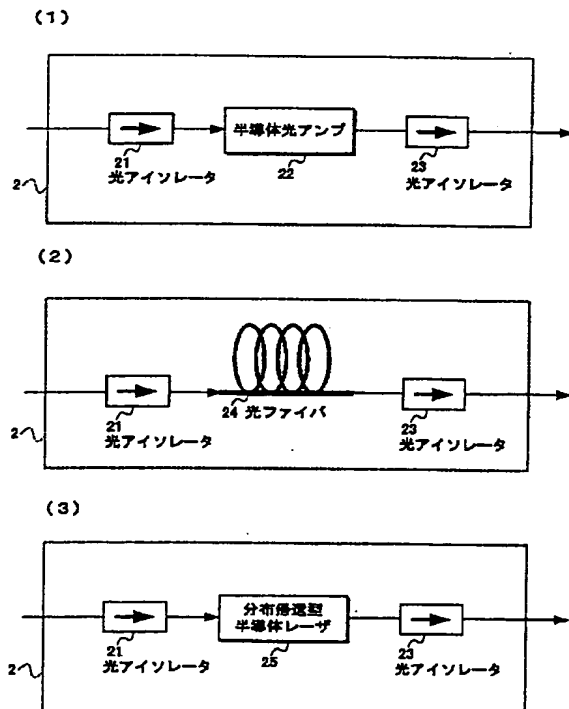


【図6】

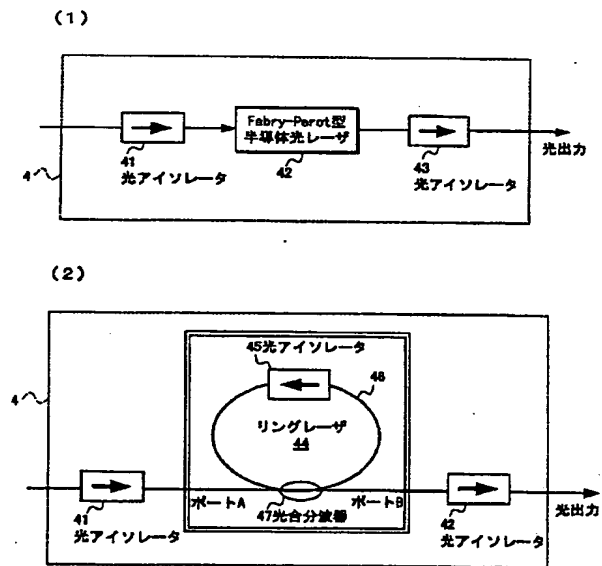


【図7】

## FWM光生成部の実施例

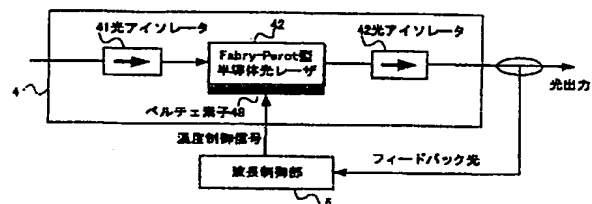


## 予備光源部の実施例

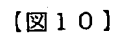


【図9】

## FP-LDの温度を制御する場合の実施例

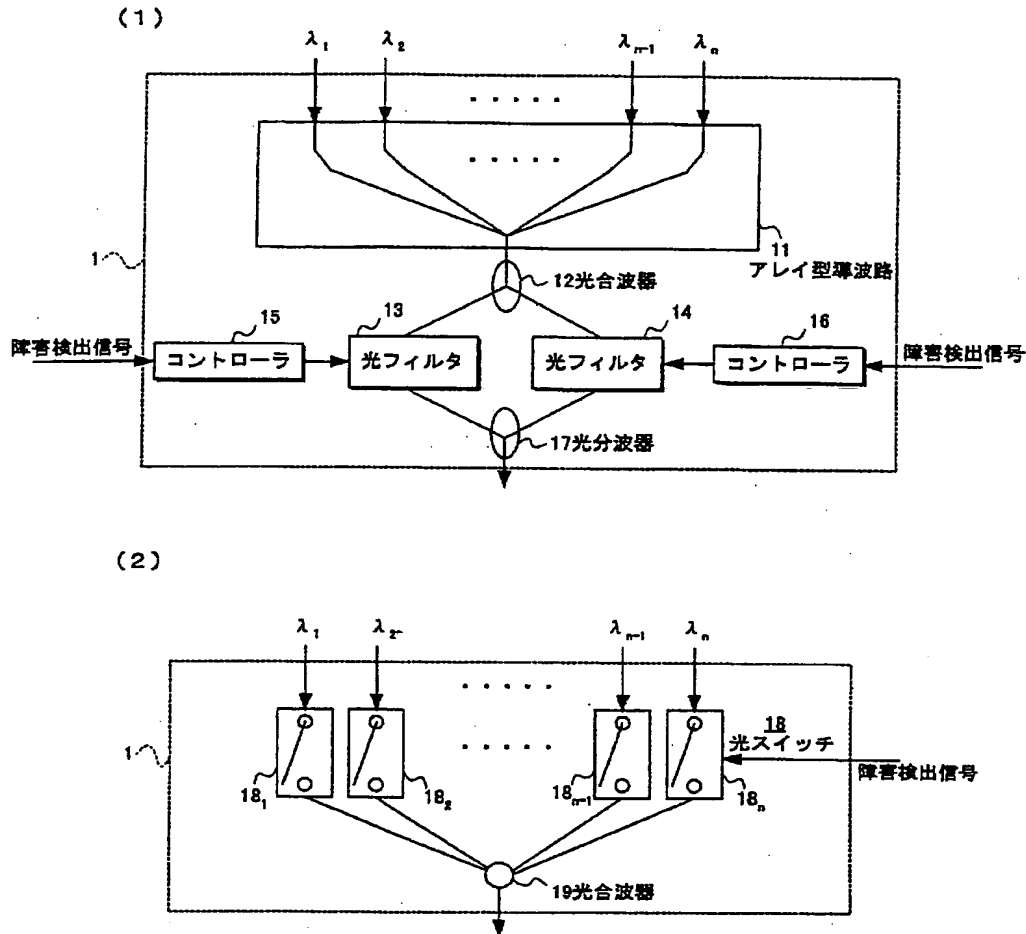


(2)



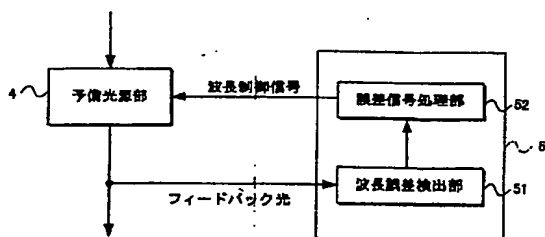
【図5】

## 波長選択部の実施例



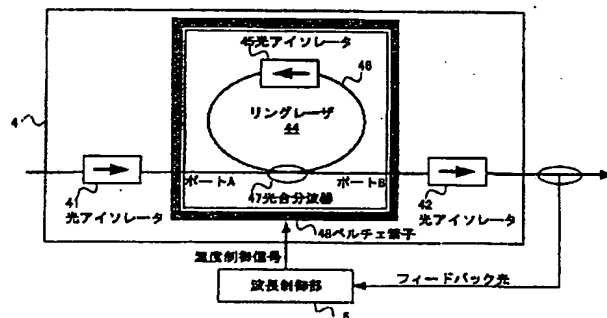
【図8】

## 波長制御部の実施例



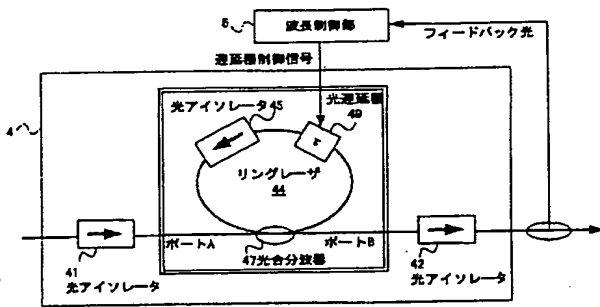
【図11】

## リングレーザの温度を制御する場合の実施例



【図12】

リングレーザのリング長を制御する場合の実施例

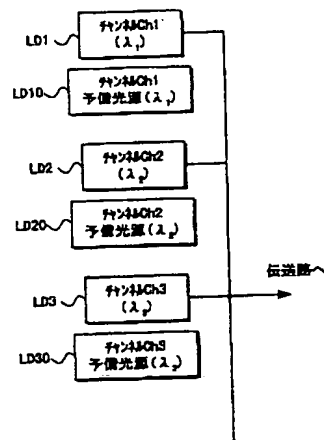


【図15】

波長可変予備光源例

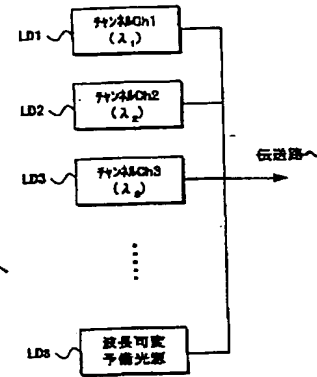
【図13】

従来例(予備ユニット)

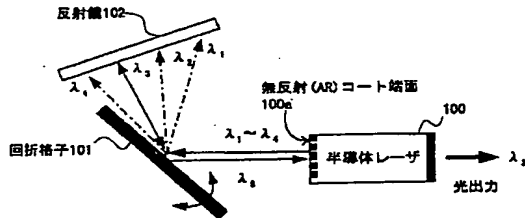


【図14】

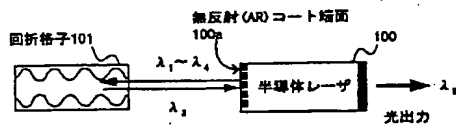
従来例(波長可変レーザ)



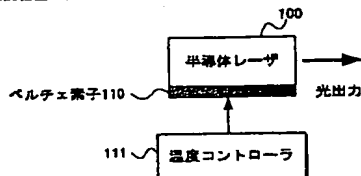
(1) 回折格子型波長可変方式(機械式)



(2) 回折格子型波長可変方式(光学式)



(3) 温度変化型波長可変方式



フロントページの続き

(72)発明者 山根 一雄  
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
 1号 富士通株式会社内  
 (72)発明者 後藤 俊夫  
 愛知県日進市五色園3丁目2110番

(72)発明者 森 正和  
 愛知県名古屋市中区大野木3丁目100番レ  
 ジオン庄内緑地公園101号



Fターム(参考) 5F073 AA64 AA66 AB25 AB30 BA02  
EA02 EA29 FA25 GA22 GA38  
5K002 AA01 BA02 BA05 BA06 BA13  
CA05 CA11 CA13 DA02 EA33  
FA01